车联网中一种有效的资源共享方法 *

邓左祥 [1a, 1b, 2]，涂 芳 [2]，李春贵 [1a, 1b]

(1. 广西科技大学 a. 计算机科学与通信工程学院; b. 智能计算与分布式信息处理重点实验室培育基地，广西 柳州 545006; 2. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院，上海 200240; 3. 上汽通用五菱汽车股份有限公司 技术中心产品认证科，广西 柳州 545007)

摘 要：针对车联网的资源共享问题进行研究，提出一种有效的资源共享方法 ERS。ERS 的目标是提高资源共享的成功率、减小资源共享的延迟、减小通信代价，以及提高发送效率。为了实现这些目标，ERS 设计四个策略，包括查询策略、回复策略、资源的替换策略、收到资源的告知策略。基于真实的车辆行驶数据来进行仿真实验。仿真实验结果表明，相比较其他两种方法，ERS 实现较高的资源共享成功率、较低的延迟、较低的通信代价和较高的发送效率，因此是车联网中一种有效的资源共享方法。

关键词：车联网；资源共享；车辆活跃度；路由；替换策略

中图分类号：TP393.07　　doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2018.01.0009

Efficient resource sharing method in Internet of Vehicles

Deng Zuoxiang[1a, 1b, 2], Tu Fang[3], Li Chungui[1a, 1b]

(1. *a. School of Computer Science & Communication Engineering*, *b. Key Laboratory of Intelligent Computing & Distributed Information Processing Guangxi University of Science & Technology*, *Liuzhou Guangxi* 545006, *China*; 2. *School of Electronic Information & Electrical Engineering*, *Shanghai Jiao Tong University*, *Shanghai* 200240, *China*; 3. *Technical Department Center Test & Validation Section*, *SAIC GM Wuling Automobile Co*, *Ltd*, *Liuzhou Guangxi* 545007, *China*)

Abstract: This paper investigated the problem of resource sharing in Internet of vehicles, and proposed an efficient resource sharing method called ERS. The goal of ERS was to improve the successful ratio of resource sharing, reduce the latency of resource sharing, reduce the communication cost, and improve the transmission efficiency. In order to achieve these goals, ERS designed four strategies, including query strategy, reply strategy, resource replacement strategy, and acknowledgement strategy. The simulation experiment was conducted based on the real traces of vehicles. Performance results demonstrate that compared with the other two methods, ERS can achieve higher successful ratio of resource sharing, lower latency, lower communication cost, and higher transmission efficiency. Therefore, ERS is an efficient resource sharing method in Internet of vehicles.

Key words: Internet of vehicles; resource sharing; vehicular active degree; routing; replacement strategy

0 引言

车联网，也可以称为车辆自组织网络，简称车辆网络，是在道路上行驶的车辆之间所形成的一种无线移动网络。近年来，随着移动互联网的普及，车联网作为移动互联网的一种，成为一种热门的研究方向。车联网的应用，主要包括保障交通安全、路径选择的优化和导航、增加娱乐性。

在车联网中，实现资源共享，是一个有意义并且值得研究的问题。现实生活中，在车辆的行驶过程中，司机或乘客可能需要一些资源，例如音频、视频、图片、超市或电影院的信息，但是车辆的本地存储器可能并没有需要的资源。在这种情况下，可以通过车联网发送查询给其他车辆，让拥有该资源的车辆产生回复，从而实现车联网的资源共享。

然而，车联网的资源共享问题，是具有挑战的一个问题。首先，查询车辆事先并不知道车联网中的哪辆车拥有该资源，因此就不存在目的车辆。查询车辆不知道自己应该往哪个目的车辆发送查询消息，从而使得车联网中的所有路由协议无法派上用场。其次，在资源回复的过程中，查询车辆可能还在按照司机的意愿来行驶，这使得目的位置是不固定的。因此，如何将资源回复到位置不固定的查询车辆上，成为一个挑战。最后，

收稿日期：2018-01-15；**修回日期：**2018-03-07　**基金项目：**国家自然科学基金资助项目（61472254，61472255，61420106010，61650203）；广西教育厅资助项目（KY2016YB249，2017KY0352）

作者简介：邓左祥（1983-），男，江西吉安人，博士，主要研究方向为车联网、数据挖掘（dengzuoxiang@126.com）；涂芳（1983-），女，工程师，主要研究方向为数据挖掘；李春贵（1968-），男，教授，博士，主要研究方向为数据挖掘、人工智能.

查询车辆在收到资源后，有可能仍然存在其他车辆正在给它回复资源，从而造成不必要的通信代价。因此，如何减小通信代价成为一个挑战，非常有必要设计一种收到资源的告知策略。

本文研究车联网的资源共享问题，提出一种有效的资源共享方法 ERS，它的目标是提高车辆获得资源的成功率，减小获得资源的延迟，并且减小通信代价。为了实现目标，ERS 包括四个策略：查询策略、回复策略、资源的替换策略、收到资源的告知策略。

1 相关工作

作为移动互联网在道路交通上的新兴应用，车联网正在得到国内外研究者越来越多的重视，成为目前的研究热点之一[1,2]。一些研究工作关注于车联网的路由协议。在传染路由[3]中，当两辆车相遇时，这两辆车就互相交换对方存储器中没有的消息，直到双方存储器中的消息完全一样。虽然传染路由实现较高的发送成功率和较低的发送延迟，但是它的通信代价非常巨大。在 spray-and-wait[4]和 spray-and-focus[5]中，源车辆为一条消息产生 L 份拷贝，并且将这 L 份拷贝发送给其他车辆。当任何一辆拥有拷贝的车辆和目的车辆相遇时，就将消息发送给目的车辆。无论是 spray-and-wait，还是 spray-and-focus，都有一个缺点，就是参数 L 是源车辆事先设置而且不再改变的，但是在不同的车联网环境下，一个合适的 L 值是不同的，因此，spray-and-wait 和 spray-and-focus 都不一定能够实现较高的发送成功率和较低的通信代价。系统中任意两辆车接连两次相遇的时间间隔，称为相遇时间间隔，文献[6]提出一种路由协议 OPF，它根据车辆之间的相遇时间间隔，基于最优停止理论，在给定消息发送次数的情况下，最大化发送成功率。在 OPF 中，作者做了两个假设：第一，对于系统中的任意两辆车 i 和 j，假设它们的相遇时间间隔，服从参数为 λ_{ij} 的指数分布；第二，假设系统中任意两辆车之间的平均相遇时间间隔，已经根据交通部门的历史信息统计得出，并且每辆车都存储有任意两辆车之间的平均相遇时间间隔，这个假设需要每辆车都消耗一定的存储空间。

文献[7]提出车联网的一种内容共享方案 Roadcast。在进行查询时，Roadcast 通过计算查询和数据的相似度，回复相似度较大的数据。Roadcast 根据查询和数据在关键字上的匹配度，以及数据的流行度，来计算查询和数据的相似度，匹配度越大，或者数据流行度越大，则相似度越大。然而，这种计算相似度的方法存在一定的缺陷，有可能造成查询车辆收到一个流行度很大但是匹配度却较小的数据。由于匹配度较小，因此查询车辆并不一定需要这个数据。此外，在进行查询时，Roadcast 只考虑一跳内的查询，即查询车辆只向它的邻居发送查询，并不考虑多跳查询，这可能会造成较大的查询延迟。

一些研究工作关注于车联网的广播和单播。洪泛[8]是一种应用比较广泛的广播协议。每当有消息需要发送时，源车辆就广播消息给它的邻居，它的邻居如果收到这条消息，就继续广播这条消息。洪泛广播比较容易引起广播风暴，产生非常大的通信代价。直接传输[9]是一种单播协议，当源车辆有消息需要发送给目的车辆时，源车辆就一直携带消息，直到遇见目的车辆才发送消息。虽然直接传输的通信代价较小，但是发送成功率较低，而且延迟较高。基于洪泛的查询，以及基于直接传输的查询，都可以解决车联网的资源共享问题，然而它们都不是有效的资源共享方法。在仿真实验中，将本文提出的资源共享方法 ERS，与基于洪泛的查询、基于直接传输的查询进行比较。

2 问题提出

2.1 系统模型

在车联网的系统中，总共有 $|N|$ 辆车，用一个集合 N 来表示，这些车在道路上按照驾驶员的意愿来行驶。每辆车都安装有车载 GPS 和电子地图，车载 GPS 可以提供车辆全局唯一的 ID、所在位置、当前时间等信息，电子地图可以提供每个路口全局唯一的 ID。此外，每辆车安装有一些设备，使其具有一定的计算能力、存储能力、通信能力。当两辆车在地理位置上的欧式距离小于或者等于通信距离时，称这两辆车相遇，而且互为邻居。如果两辆车互为邻居，它们就可以互相接收和发送消息。每辆车都不可以同时接收和发送消息，并且不可以同时接收来自多辆车的消息，否则会发生冲突。为了实现车辆之间的邻居发现，每辆车都周期性（例如 10 秒）发送探测消息，使得一辆车在进入其他车辆的通信距离以内后，其他车辆能够发现它。探测消息都是非常小的消息，因此产生的通信代价几乎可以忽略不计。

每辆车的本地存储器中都存储有一些资源，这些资源可以是图片、音频、视频等。每个资源都可以通过车联网，共享给需要这个资源的车辆。

2.2 问题描述

在车联网中，当一辆车需要某个资源时，如果这辆车的本地存储器里没有该资源，它就产生一条查询消息，在车联网中发送这条查询消息，这辆车可以称为源车辆。对于一条查询消息，源车辆给它设置一个查询消息生存期。其他任意车辆收到这条查询消息后，如果发现本地存储器有该资源，就将该资源通过车联网回复给源车辆，从而实现资源共享。

车联网中的资源共享问题，包括如何进行查询，以及如何进行回复。资源共享问题的指标，包括成功率、平均延迟、通信代价，以及效率。成功率定义为源车辆成功获得的资源个数，除以源车辆总的查询消息个数；平均延迟定义为在源车辆成功获得的所有资源当中，源车辆产生查询消息到收到资源的平均时间间隔；通信代价定义为消息的总发送次数；效率定义为源车辆成功获得的资源个数，除以通信代价。

作为一个有效的资源共享方法，应该尽可能实现较高的成功率和较低的平均延迟。此外，还应该实现较低的通信代价和较高的效率。

3　有效的资源共享方法 ERS

本章详细描述本文提出的车联网中有效的资源共享方法，名为 ERS。在 ERS 中，包括四个策略：查询策略、回复策略、资源的替换策略、收到资源的告知策略。

3.1　查询策略

本节设计一个查询策略，源车辆按照这个策略来发送查询消息。设计查询策略的目标是提高资源共享的成功率，并且减小延迟和通信代价。

当源车辆需要某个资源时，如果本地存储器里没有该资源，它就产生一条查询消息，并且为这个查询消息设置一个查询消息 ID。查询消息 ID 由源车辆 ID 加上查询 ID 来组成，其中查询 ID 可以按照源车辆查询的顺序依次生成。按照这种方法设置的查询消息 ID 是全局唯一的。查询消息的内容，包括查询消息 ID、想要获得资源的查询请求，以及查询消息生存期。此外，为了方便拥有该资源的车辆回复源车辆，查询消息的内容还包括：当前时间和源车辆所在的位置，可以通过车载 GPS 获得；源车辆的未来行驶路径，用电子地图里的路口 ID 序列来表示。

由于源车辆事先并不知道车联网中的哪辆车拥有它需要的资源，因此源车辆发送的查询消息就没有特定的目的位置，不会事先指定目的车辆。在这种情况下，为了实现查询，ERS 让源车辆每隔若干秒钟（如 60 s）在车联网中向它的邻居发送查询消息，直到源车辆收到资源，或者查询消息生存期结束。当源车辆的一个邻居收到源车辆的查询消息时，如果发现自己拥有源车辆需要的资源，它就将资源立即回复给源车辆。在这种情况下，由于此时源车辆和拥有资源的车辆仍然处于邻居状态，因此资源可以以一跳的方式回复到源车辆上。如果查询消息生存期结束，源车辆仍然没有收到资源，它可以选择继续查询，也可以选择放弃查询。如果源车辆选择继续查询，它就重新生成查询消息，按照相同的查询策略，在车联网中发送查询消息。

在现实生活中，车联网中的一辆车在一定时间内遇见的车辆，通常仅仅是车联网中所有车辆的一部分。因此，仅仅靠源车辆进行查询，是不能实现较高的资源共享成功率和较低的延迟的。为了解决这个问题，ERS 让源车辆在每次发送查询消息时，都从它的邻居里，选择出一辆车，来帮助它一起继续查询。假设源车辆选择出来的车辆是 v_h， v_h 每隔若干秒钟（例如 60 秒）在车联网中向它的邻居发送源车辆的查询消息，直到它听到有车辆产生回复，或者查询消息生存期结束。如果一辆拥有资源的车收到 v_h 发来的源车辆的查询消息，它就将资源立即回复给源车辆，回复的策略在下一小节描述。由于仍然处于邻居状态，这一回复可以被 v_h 听到，使得 v_h 不再发送源车辆的查询消息。

下面描述源车辆如何选择 v_h 。本文提出两种选择 v_h 的方法：(a)基于随机的选择（RAN）。在 RAN 中，源车辆从它的邻居当中，随机地选择出一辆车作为 v_h ;(b)基于车辆活跃度的选择（ACT）。在 ACT 中，源车辆从它的邻居当中，按照车辆的活跃度，选择活跃度最大的车辆作为 v_h 。仿真实验将比较这两种方法。

下面给出车辆活跃度的计算方法。每辆车的初始活跃度都是 1。设置一个时间窗口（如 1 h），每当一个新的时间窗口开始时，一辆车按照式(1)来计算它在这个时间窗口的当前活跃度 a_n：

$$a_n = \alpha \times v_l + (1-\alpha) \times a_l \tag{1}$$

其中: v_l 是这辆车在上一个时间窗口遇见的不同邻居的数量，a_l 是这辆车在上一个时间窗口的活跃度， α 是系数，取值 0~1。在 ERS 中，设置 α 为 0.6。从式(1)可以知道，如果一辆车遇见的车辆数量越多，它的活跃度就越大。一辆车为了让其他车辆知道自己的活跃度，每当发送探测消息时，将自己的当前活跃度 a_n，一起发送给邻居。

3.2　回复策略

在查询策略中，源车辆每次发送查询消息时，都从它的邻居里面，选择出一辆车 v_h，帮助它继续在车联网中进行查询。如果一辆拥有资源的车 v_d，收到 v_h 发来的源车辆的查询消息，它就将资源立即回复给源车辆。当 v_d 回复源车辆时，它们可能不是邻居，因此需要设计一条路由路径，资源将沿着这条路由路径，从 v_d 发送到源车辆。本小节设计一个回复策略， v_d 按照这个策略，来进行路由选择和回复资源。设计回复策略的目标是减小延迟和通信代价。

下面描述如何设计路由。在 ERS 中，为 v_d 设计一条基于道路路径的路由。资源将沿着这条道路路径，按照一跳接着一跳的方式，从 v_d 发送到源车辆。从文献[10,11]可以得到，一辆车在一条路段上行驶所花的时间，以及一条消息在一条路段上发送所花的时间，都是服从伽玛分布的。根据由交通部门提供的历史信息，可以计算出一辆车在一条路段上行驶所花的期望时间，以及一条消息在一条路段上发送所花的期望时间。假设这些期望时间，都已经存储在车联网系统中的每辆车里。从源车辆的查询消息里，v_d 可以知道源车辆产生查询消息的时间和所在位置，以及源车辆的未来行驶路径。因此， v_d 可以知道源车辆未来经过各个路口的期望时刻。从 v_d 发送到源车辆的路由，分为两部分：a) v_d 从源车辆未来所经过的各个路口当中，选择一个路口作为目标路口。根据一条消息在一条路段上发送所花的期望时间，利用迪杰斯特拉算法， v_d 找到一条发送消息所花期望时间最小的路径，将资源从自己发送到目标路口;b)当资源从 v_d 发送到目标路口时，分为两种情况：(a)资源到达目标路口的期望时刻，早于源车辆到达目标路口的期望时刻。在这种情况下，让资源沿着与源车辆未来行驶路径相反的方向发送，直到一个最终路口 i_d，满足资源到达路口 i_d 的期望时刻，晚于源车辆到达路口 i_d 的期望时刻;(b)资源到达目标路口的期望时刻，晚于源车辆到达目标路口的期望时刻。在这种情况下，让资源沿着与源车辆未来行驶路径相同的方向发送，直到一个最终路口 i_d，满足资源到达路口 i_d 的期望时刻，早于源车辆到达路口 i_d 的期望时刻。

下面描述 v_d 选择目标路口的方法。从源车辆未来所经过的各个路口当中，v_d 计算通过一个路口来发送资源的期望延迟，从中选择出一个具有最小期望延迟的路口，作为目标路口。假设一个路口 i_c，v_d 按照式(2)，来计算资源通过路口 i_c 来发送的期望延迟 $D(i_c)$：

$$D(i_c)=D(v_d i_c)+D(i_c i_d) \tag{2}$$

其中：$D(v_d i_c)$ 是 v_d 利用迪杰斯特拉算法将资源从自己发送到路口 i_c 所花的期望时间，$D(i_c i_d)$ 是资源从路口 i_c 发送到最终路口 i_d 所花的期望时间。

在资源沿着道路路径回复的过程中，如果每辆车都转发资源，那么就会产生非常大的通信代价。为了减小通信代价，ERS 采用基于距离的转发策略。假设当前转发资源的车辆是 v_f，v_f 向它的邻居转发资源后，它的一个邻居 v_c，按照式子(3)，来计算自己的等待转发时间 t_w：

$$t_w=(r-d)\times t_g \tag{3}$$

其中：r 是通信距离，d 是 v_f 和 v_c 之间的距离，t_g 代表时间粒度，可以设置成若干 ms（如 1 ms）。从式(3)可以知道，距离 v_f 越远的邻居，它的等待转发时间就越小。因此，距离 v_f 最远的邻居，将首先转发资源。其他邻居听到有车辆转发资源后，就不再转发资源，从而可以减小通信代价。如果出现车联网不连通的情况，即当前转发资源的车辆 v_f 听不到它的任何邻居继续转发资源，v_f 就采取存储--携带--转发策略。

3.3　资源的替换策略

在资源沿着路由路径从拥有资源的车 v_d 回复到源车辆的过程中，在路由路径上行驶的一些车辆会收到资源。在 ERS 中，当一辆车收到一个资源时，即使这辆车不需要这个资源，它也将这个资源存储在本地存储器中，以方便以后其他车辆的查询。随着资源的日积月累，可能会出现本地存储器空间不足的情况，因此需要删除掉一些资源。本小节设计一个资源的替换策略，当本地存储器空间不足时，按照这个策略来删除掉资源。

在 ERS 中，为每个资源计算一个资源价值。当一辆车的本地存储器空间小于一个事先设定好的阈值（如 100 MB），就表示这辆车的本地存储器空间不足。当一辆车的本地存储器空间不足时，这辆车就根据每个资源的资源价值，依次将资源价值最小的资源删除，直到这辆车的本地存储器空间大于或等于阈值。一辆车按照式(4)来计算它本地存储器中一个资源的资源价值 r_v：

$$r_v=r_p/r_s \tag{4}$$

其中：r_p 是这个资源的资源流行度，r_s 是这个资源所占用的存储空间。任何一个资源的资源流行度的初始值都是 1。当一辆车对源车辆需要的资源进行回复后，这辆车就将自己关于这个资源的资源流行度加 1。从式(4)可以知道，一个资源的资源价值，和它的资源流行度成正比，和它所占用的存储空间成反比。因此，如果一个资源的资源流行度越大，或者它所占用的存储空间越小，这个资源的资源价值就越大。

3.4　收到资源的告知策略

当源车辆收到资源后，有可能仍然存在其他一些车辆正在帮助它查询，或者正在将资源回复给它，从而造成不必要的通信代价。本小节设计一个收到资源的告知策略，当源车辆收到资源后，它通过这个策略告知其他车辆它已经收到资源。正在帮助源车辆查询，或者正在回复资源的一辆车，如果判断出源车辆已经收到资源，它就不再继续查询或回复。

在 ERS 中，每辆车都在自己的本地存储器中，存储一个大小为 1000 位的二进制向量。如前所述，一辆车为查询一个资源的查询消息 ID，是全局唯一的。如果一个资源已经被源车辆收到，源车辆就将关于这个资源的全局唯一的查询消息 ID，利用 bloom filter 方法[12,13]，存储在大小为 1000 位的二进制向量中。一辆车在发送探测消息时，将自己存储的二进制向量一起发送，由于二进制向量的大小只有 1000 位，因此所产生的通信代价非常小。其他车辆如果收到这辆车的二进制向量，就将自己的二进制向量和这辆车的二进制向量，通过"按位或"进行运算，更新自己的二进制向量。每辆车都可以通过自己存储的二进制向量，来检测一个查询消息 ID，从而可以判断出源车辆是否已经收到资源。为了降低 bloom filter 的误判概率，如果一辆车存储的二进制向量有超过 50%以上的位都是 1，这辆车就将自己的二进制向量的所有位全部重新设置为 0。

在利用二进制向量存储查询消息 ID 时，bloom filter 需要相互独立的若干个哈希函数。哈希函数根据查询消息 ID，计算出哈希地址，将二进制向量中与哈希地址对应的位设为 1。本文采用四种方法，分别构造四个哈希函数：(a)平方取中法,将查询消息 ID 的数值平方后，取中间 3 位作为哈希地址;(b)除留余数法,将查询消息 ID 的数值除以 997 后，所得余数作为哈希地址;(c)基数转换法,将查询消息 ID 的数值看成十三进制，将十三进制数转换成十进制数后，取中间 3 位作为哈希地址;(d)伪随机数法,这种方法按照式(5)来计算哈希地址 $Hash(key)$。

$$Hash(key)=(13\times key+11)\%1000 \tag{5}$$

其中：$Hash(key)$ 代表哈希地址，key 代表查询消息 ID。

4　仿真实验

4.1　实验方法与参数设置

在仿真实验中，将本文提出的 ERS，与基于洪泛的查询、基于直接传输的查询进行比较。将基于洪泛的查询，简称为洪泛查询；将基于直接传输的查询，简称为直接查询。在洪泛查询中，源车辆采用洪泛广播的方式进行查询，拥有资源的车辆采用洪泛广播的方式进行回复。在直接查询中，源车辆每隔 10 秒向它的邻居发送查询消息，如果它的一个邻居拥有资源，就立刻将资源回复给源车辆。此外，仿真实验还比较源车辆选择 v_h 的两种方法 RAN 和 ACT。比较性能好坏的指标，包括成功率、平均延迟、通信代价，以及效率。

仿真实验使用收集到的车辆真实行驶数据[14, 15]。这些车辆由在上海市区内行驶的 4000 多辆出租车和 2000 多辆公交车组

成，它们的行驶数据由车载 GPS 装置实时产生。无线通信的信道模型服从幂律衰减模型。关于实验的参数设置，如表 1 所示。

表 1 实验的参数设置

参数名称	参数值
车辆数量	3000
查询消息数量	500~800
每个资源大小	10 MB
存储器大小	1 GB
数据传输速率	100 Mbps
通信距离	200 m

4.2 不同方法之间的比较结果

首先，将 ERS 与洪泛查询、直接查询进行比较。在这个仿真实验中，ERS 采用 ACT 来让源车辆选择 v_h 。

关于成功率的比较结果，如图 1 所示。可以看出，ERS 的成功率要高于洪泛查询和直接查询。在 ERS 中，超过 80%的资源被成功获得。在洪泛查询中，仅仅有 60%左右的资源被成功获得，这是因为洪泛查询采用洪泛广播的方法来查询和回复，这种方法容易引起广播风暴，造成数据包之间的冲突，从而影响消息的发送和接收。在直接查询中，仅仅不到 20%的资源被成功获得，这是因为源车辆直接遇见拥有资源车辆的机会是非常低的。

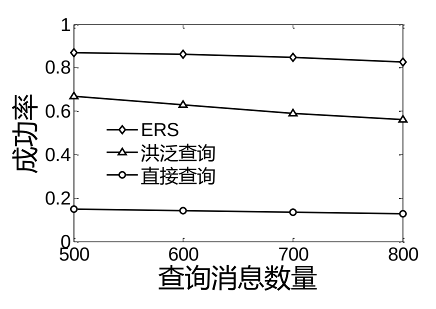


图 1 成功率比较结果

关于平均延迟的比较结果，如图 2 所示。可以看出，ERS 的平均延迟要低于洪泛查询和直接查询。当查询消息的数量从 500 变化到 800 时，ERS 的平均延迟都在 30 min 内。

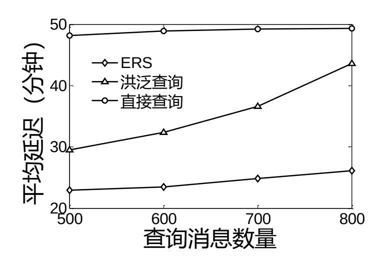


图 2 平均延迟比较结果

关于通信代价的比较结果，如图 3 所示。可以看出，相比较洪泛查询，ERS 有较低的通信代价，这是因为洪泛查询采用洪泛广播的方法来查询和回复，这种方法的通信代价是非常大的。此外，虽然直接查询的通信代价比较小，但是它的成功率非常低，如图 1 所示，因此直接查询并不是一种有效的资源共享方法。

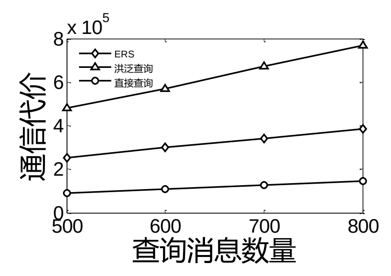


图 3 通信代价比较结果

关于效率的比较结果，如图 4 所示。可以看出，ERS 的效率要明显高于洪泛查询和直接查询，这是因为 ERS 可以同时实现较高的成功率和较低的通信代价，所以 ERS 有较高的效率。

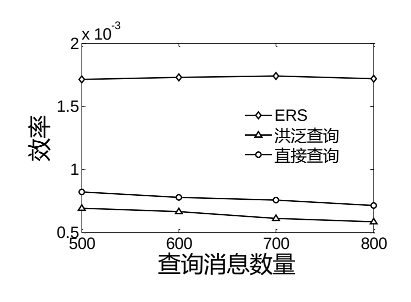


图 4 效率比较结果

基于这四个实验结果，可以得到，相比较洪泛查询和直接查询，ERS 可以同时实现较高的成功率、较低的延迟、较低的通信代价、较高的效率，因此是一种有效的资源共享方法。

4.3 ACT 与 RAN 之间的比较结果

当源车辆选择 v_h 时，本文提出两种方法：基于车辆活跃度的选择（ACT），以及基于随机的选择（RAN）。本小节比较这两种方法。

关于成功率的比较结果，如图 5 所示，可以看出，ACT 比 RAN 实现更高的成功率。关于平均延迟的比较结果，如图 6 所示，可以看出，ACT 比 RAN 实现更低的平均延迟。这是因为在选择车辆时，ACT 选择活跃度最大的车辆作为 v_h 来帮助查询，而活跃度越大就意味着遇见车辆越多，所以相比较 RAN，ACT 有更大的机会遇见拥有资源的车辆，从而实现更高的成功率和更低的延迟。因此，在 ACT 和 RAN 两种方法当中，本文推荐使用性能较好的 ACT。

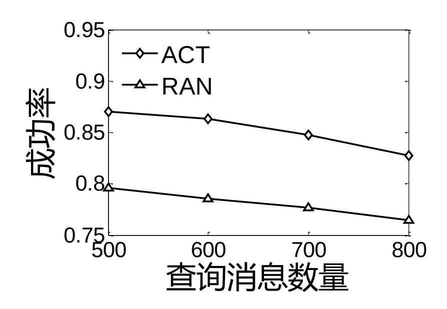


图 5 ACT 与 RAN 关于成功率的比较结果

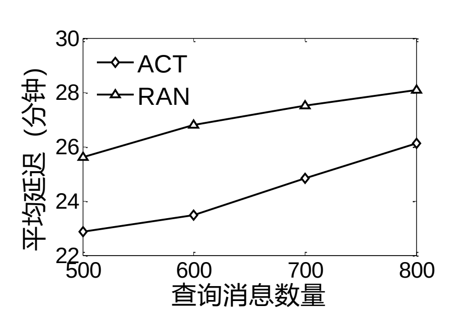


图 6　ACT 与 RAN 关于平均延迟的比较结果

5　结束语

本文关注于车联网的资源共享问题，提出一种有效的资源共享方法 ERS，包括四种策略：查询策略、回复策略、资源的替换策略、收到资源的告知策略。在查询策略中，源车辆根据车辆的活跃度，来选择其他车辆帮助它一起查询；在回复策略中，基于源车辆的未来行驶路径，选择一条具有最小期望延迟的路径来进行回复；在资源的替换策略中，为每个资源计算一个价值，当本地存储器不足时，就将价值最小的资源删除；在收到资源的告知策略中，采用 bloom filter，对源车辆已收到资源的查询消息 ID 进行存储，并且在车联网中进行传播，告知其他车辆，以减小通信代价。仿真实验采用真实的车辆行驶数据，结果表明，ERS 是车联网中一种有效的资源共享方法。

参考文献：

[1] 朱红梅. 车联网：移动互联网催生的下一个热点 [J]. 通信世界, 2015, 2015 (9): 22.

[2] 叶纯梅. 车联网：移动互联网的新入口 [J]. 金融科技时代, 2014, 2014 (6): 22-26.

[3] 徐吉兴, 李建波, 曲磊, 等. 一种基于移动方向的容延迟网络受控传染路由算法 [J]. 小型微型计算机系统, 2015, 36 (1): 60-66.

[4] 奎丽萍, 罗桂兰, 张梅. 基于倍数转发机制的车辆容迟网络路由协议的研究 [J]. 大理大学学报, 2017, 2017 (6): 1-7.

[5] 张敏. 机会网络在矿井安全监测中的应用研究 [D]. 徐州：中国矿业大学, 2016.

[6] Liu Cong, Wu Jie. An optimal probabilistic forwarding protocol in delay tolerant networks [C]// Proc of ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. New Orleans: ACM MOBIHOC, 2009: 105-114.

[7] Zhang Yang, Zhao Jing, Cao Guohong. Roadcast: a popularity aware content sharing scheme in VANETs [C]// Proc of IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. 2009: 223-230.

[8] 刘帅. 基于时间选举的无线传感器网络洪泛算法研究 [D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学, 2016.

[9] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C. Single-copy routing in intermittently connected mobile networks [C]// Proc of IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking. Santa Clara: IEEE SECON, 2004: 235-244.

[10] Jeong J, Guo Shuo, Gu Yu, *et al.* TBD: trajectory-based data forwarding for light-traffic vehicular networks [C]// Proc of IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. 2009: 231-238.

[11] Jeong J, Guo Shuo, Gu Yu, *et al.* TSF: trajectory-based statistical forwarding for infrastructure-to-vehicle data delivery in vehicular networks [C]// Proc of IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. 2010: 557-566.

[12] 谢鲲, 施文. 一种隐私保护的可逆布鲁姆过滤器 [J]. 计算机工程与科学, 2017, 39 (6): 1104-1111.

[13] 李鲲鹏, 兰巨龙, 李印海. 基于 Bloom filter 的高效正则表达式匹配算法 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29 (3): 950-954.

[14] Qin Jun, Zhu Hongzhi, Zhang Wei, *et al.* POST: exploiting dynamic sociality for mobile advertising in vehicular networks [J]. IEEE Trans on Parallel and Distributed Systems, 2016, 27 (6): 1770-1782.

[15] Chang Shan, Zhu Hongzhi, Dong Mianxiong, *et al.* Private and flexible urban message delivery [J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2016, 65 (7): 4900-4910.